

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« _____ » _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:**

**«Модернізація начіпного копача цукрових буряків з дослідженням
роторного очисника»**

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,
групи ГМ-24М-1

ОНП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»

_____ Місюра Андрій Віталійович

« _____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ Юрій МАЧОК

« _____ » _____ 2026 р.

Рецензент

доцент, д-р. техн. наук

_____ Володимир ЯЦУН

« _____ » _____ 2026 р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Агротехнічний

Кафедра Сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

Освітньо-наукова програма «Галузеве машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

«___» _____ 2026 року

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Місюри Андрія Віталійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Модернізація начіпного копача цукрових буряків з дослідженням роторного очисника
2. Керівник роботи (проекту) Мачок Юрій Вікторович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
3. Строк подання роботи до захисту 05.05.2026 р.
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Метою є модернізація начіпного копача цукрових буряків шляхом удосконалення конструкції роторного (турбінного) очисника коренеплодів та обґрунтування його параметрів, які забезпечили б зменшення рівня пошкодження коренеплодів і зниження енергетичних витрат.
5. Перелік ілюстративного матеріалу 1. Стан досліджуваного питання; 2. Вибір напрямку досліджень; 3. Теоретичний аналіз об'єкта дослідження; 4. Практична реалізація результатів досліджень.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Виконання розділу «Вступ»	02.02.2026 р.	
2	Виконання розділу «Стан досліджуваного питання та вибір напрямку досліджень»	27.02.2026 р.	
3	Виконання розділу «Наукова частина»	27.03.2026 р.	
4	Виконання розділу «Практична реалізація результатів досліджень»	15.04.2026 р.	
5	Виконання розділу «Охорона праці».	22.04.2026 р.	
6	Формулювання загальних висновків. Оформлення пояснювальної записки та ілюстративної частини. Підготовка до захисту.	05.05.2026 р.	

Дата видачі завдання
«19» січня 2026 р.

Підпис керівника

_____ (прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання
«19» січня 2026 р.

Підпис здобувача

_____ (прізвище та ініціали)

Анотація

У кваліфікаційній роботі досліджено процес очищення коренеплодів цукрових буряків у начіпному копачі АЗБ-6 та обґрунтовано шляхи його вдосконалення.

Проведено аналіз існуючих конструкцій очисників і встановлено переваги та недоліки турбінних систем. Теоретично визначено вплив частоти обертання турбін на якість очищення і рівень пошкодження коренеплодів.

Запропоновано модернізацію конструкції очисника та встановлено раціональний діапазон частоти обертання роторів (турбін). Отримані результати сприяють підвищенню ефективності збирання цукрових буряків. Розроблено заходи безпечної експлуатації бурякозбирального агрегату.

Abstract

In the qualification work, the process of cleaning sugar beet roots in the mounted digger AZB-6 was investigated, and ways for its improvement were substantiated.

An analysis of existing cleaning device designs is carried out, and the advantages and disadvantages of turbine systems are identified. The influence of turbine rotational speed on cleaning quality and the level of root damage is theoretically determined.

A modernization of the cleaner design is proposed, and a rational range of rotor (turbine) rotational speeds is established. The obtained results contribute to improving the efficiency of sugar beet harvesting. Measures for the safe operation of the harvesting unit are also developed.

ЗМІСТ

	стор.
1. Вступ	5
2. Стан досліджуваного питання та вибір напрямку досліджень	7
3. Наукова частина	22
4. Практична реалізація результатів досліджень	37
5. Охорона праці	41
6. Загальні висновки	43
Список використаної літератури	45

1. ВСТУП

Цукрові буряки є однією з основних технічних культур агропромислового комплексу України, що забезпечує сировину для цукрових заводів та суміжних галузей переробки. В умовах інтенсифікації сільськогосподарського виробництва та зростання вимог до ефективності механізованого збирання коренеплодів особливого значення набуває питання вдосконалення конструкцій бурякозбиральних машин, в тому числі і копачів цукрових буряків.

Теперішній стан цукрової галузі свідчить про те, що значна частина парку бурякозбиральних машин в Україні фізично та морально застаріла. Існуючі конструкції копачів часто не відповідають вимогам щодо якості збирання, ступеню пошкоджень коренеплодів і повноти їх очищення від ґрунту та рослинних решток. Водночас, купівля нових закордонних комбайнів є недоступною для більшості сільськогосподарських підприємств через їх велику вартість. За зазначених обставин модернізація існуючих машин з мінімальними капіталовкладеннями є технічно і економічно обґрунтованим шляхом підвищення технологічного рівня збирання урожаю коренеплодів.

Одним із найбільш проблемних вузлів начіпних копачів є механізм очищення коренеплодів від ґрунту. Неефективна робота сепаруючих пристроїв призводить до підвищення засміченості, пошкодження буряків, збільшення втрат цукру при зберіганні та переробці, а також до погіршення техніко-економічних показників усього збирального процесу та цукрового виробництва. Одним із перспективних напрямків вирішення цієї проблеми є застосування на бурякозбиральних машинах роторних очисників, які забезпечують більш інтенсивну і якісну обробку коренеплодів порівняно з традиційними пальцевими чи прутковими механізмами.

Незважаючи на наявність окремих теоретичних і практичних досліджень у галузі бурякозбиральної техніки, питання обґрунтування конструктивних та кінематичних параметрів роторного очисника для начіпних копачів залишається недостатньо вивченим. Відсутність систематизованих науково-практичних даних щодо впливу геометричних характеристик роторів (турбін),

частоти їх обертання та подачі коренеплодів на якість очищення обмежує широке впровадження їх у виробництво. Дослідження проведені в даній роботі будуть спрямовані на вирішення цієї проблеми.

2. СТАН ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз публікацій щодо роторних (турбінних) підбирачів-очисників цукрових буряків свідчить про те, що увага дослідників за останні роки змістилася від суто механічних удосконалень до використання інтелектуальних систем та екологічної стійкості. Їхня конструкція постійно змінюється в напрямку зменшення травмування коренів при одночасному зростанні пропускної здатності.

Підйомно-сепарувальні турбіни (або очисні круги) виконують подвійну функцію: вертикальне або похиле транспортування вороху коренеплодів та його інтенсивну сепарацію. Ефективність роботи цих робочих органів залежить від геометричних параметрів та кінематичного режиму [5,7].

Класичною конструкцією є турбіни з жорсткими пальцями, де до центральної маточини кріпляться радіальні або дугоподібні сталеві прутки (пальці). Очищення коренеплодів відбувається шляхом їх тертя об решітки огорожі під дією відцентрової сили, яка виникає при обертанні турбін.

Така конструкція має високу механічну міцність зі здатністю працювати на важких, перезволожених ґрунтах. Однак вона має суттєвий недолік – високий рівень пошкодження коренів цукрових буряків (сколи, мікротріщини, зламані хвостики), що призводить до втрати цукристої маси та цукру при зберіганні.

Сучасні світові лідери по виробництву бурякозбиральної техніки (Рора, Holmer тощо) все частіше використовують турбіни з гумовими або поліуретановими елементами, що сприяє зниженню ударних навантажень на коренеплід, дозволяє підвищити кутову швидкість турбін без ймовірності значного травмування врожаю. Більш сучасні моделі передбачають можливість зміни кута нахилу пальців або їхнього вильоту. Це дозволяє адаптувати комбайн до різних типів ґрунтів безпосередньо в полі. На легких ґрунтах крок

пальців збільшують для прискорення виводу вороху, на важких – зменшують для більш інтенсивної сепарації ґрунту.

Група дослідників [12] присвятила свою роботу вирішенню актуальної проблеми удосконалення технічного рівня коренезбиральної техніки в Україні. Автори зосередились на розробці концепції адаптованої коренезбиральної машини (АКМ), здатної одночасно збирати різні види коренеплодів – цукрові, кормові та столові буряки, а також моркву – в різноманітних ґрунтово-кліматичних умовах.

У роботі розглянуто основний недолік сучасних самохідних бункерних комбайнів: попри складні багатоступеневі транспортно-технологічні системи очищення, ці машини подають на сепарувальні системи надмірну кількість ґрунтових домішок – у середньому до 10 – 15 тонн із гектара. Це призводить до виносу родючого шару ґрунту з поля та збільшення енергоємності всього технологічного процесу.

Методологічну основу дослідження складає ідентифікація існуючих типів викопувальних і очисних робочих органів коренезбиральних машин – лемішних, вилкових, дводискових та вібраційних копачів, а також транспортерних, шнекових, лопатевих і турбінних очисників. На підставі порівняльного аналізу конструктивно-технологічних схем цих органів автори формулюють основні недоліки: неможливість суміщення операцій викопування та одночасного видалення залишків гички з головок коренеплодів в одному технологічному процесі, а також переміщення коренеплодів і домішок в одному напрямку, що ускладнює їх розділення.

Як альтернативне рішення запропоновано дві оригінальні транспортно-технологічні системи комбінованих робочих органів. Перша – адаптований викопувально-транспортно-очисний комбінований робочий орган (АВТОКРО) – поєднує однодисковий сферичний копач із горизонтальним приводним валом, на якому закріплено плоскі пружні лопаті. Завдяки цьому під час викопування коренеплодів одночасно відбувається очищення їх головок від залишків гички та руйнування ґрунтових грудок. Запропоновано кілька модифікацій

АВТОКРО, у тому числі дворядний варіант із трисекційним барабаном, а також виконання з підпружиненими прутками для регулювання сили контактної взаємодії лопатей.

Друга система – адаптований транспортно-очисний комбінований робочий орган (АТОКРО) – базується на поєднанні горизонтального пруткового транспортера зі шнеком, вісь якого орієнтована перпендикулярно або під кутом до напрямку руху вороху коренеплодів. Розділення потоків коренеплодів і домішок у взаємно перпендикулярних напрямках дозволяє суттєво підвищити якість сепарації. Додаткове встановлення відминальних вальців і пружних очисних елементів на трубі шнека забезпечує ефективне відокремлення залишків гички та налиплого ґрунту. Окремо описано конструкцію з незалежним приводом шнека та очисного валу, що дає змогу незалежно регулювати їхні кутові швидкості. Дана альтернативна конструкція не передбачає використання турбінного очисника.

Гевко Р.Б. у своїй роботі [7] фокусує увагу на тому, що традиційні робочі органи часто не забезпечують чистоту вороху коренеплодів, особливо на важких і вологих ґрунтах. У роботі обґрунтовано необхідність створення комбінованих викопувально-очисних систем, які здатні одночасно вилучати корінь та здійснювати його первинне очищення від залишків землі та рослинних часток.

Автором наведено математичні моделі взаємодії робочих органів із ґрунтовим середовищем та коренеплодом. Використовуючи методи класичної механіки пропонується рівняння руху частинок ґрунту та коренеплодів на поверхнях очисних пристроїв.

У роботі подано алгоритми визначення оптимальних геометричних і кінематичних параметрів робочих органів:

- кути нахилу та встановлення робочих поверхонь;
- швидкісні режими роботи, що забезпечують самоочищення механізмів;

- силові характеристики, необхідні для розрахунку міцності вузлів та підбору приводів.

Запропоновані у монографії інженерні рішення спрямовані на реалізацію концепції «лагідного» збирання. Впровадження результатів дослідження дозволяє знизити втрати цукросировини та зменшити обсяги ґрунту, що вивозиться з поля на цукрові заводи, що має не лише технічне, а й значне економічне та екологічне значення.

В роботі значну увагу приділено використанню турбінних робочих органів. Оскільки турбінні очисники є одними з найефективніших для відділення ґрунту від коренеплодів, автор розглядає їх як у контексті аналізу існуючих машин, так і в частині власних теоретичних розробок.

Автор аналізує рух вороху коренеплодів по конічних та плоских решітчастих поверхнях роторів (турбін). Розглядається динаміка взаємодії коренеплоду з прутками турбін. Основними факторами тут є:

- відцентрова сила, що притискає коріння до огорожі (деки);
- сила тертя, яка виникає при переміщенні вороху вздовж прутків;
- траєкторія руху, що забезпечує необхідний шлях контакту для повного очищення від прилиплого ґрунту.

В роботі запропоновано математичні моделі для визначення граничної швидкості обертання турбіни, при якій забезпечується інтенсивне виділення ґрунту без пошкодження хвостиків та тіла буряків, пропускної здатності, яка залежить від діаметра ротора та кута нахилу, енергоємності процесу, що дає можливість розрахувати необхідну потужність приводу.

Автор пропонує шляхи вдосконалення роторних (турбінних) очисників. Наприклад, це комбіновані системи, де роторні органи працюють у зв'язці з гвинтовими (шнековими) транспортерами.

Зацікавленість викликають регульовані бокові решітки (деки), які дозволяють змінювати інтенсивність сепарації залежно від типу ґрунту (піщаний, глинистий або перезволожений) а також застосування еластичних

елементів чи покриттів на металевих поверхнях для зменшення динамічних ударів по коренеплоду.

Автор пропонує порівняльну характеристику роторних (турбінних) і шнекових очисників коренеплодів (табл. 2.1)

Таблиця 2.1 – Порівняння роторних та шнекових очисників [7]

Характеристика	Роторні (турбінні) органи	Шнекові (гвинтові) органи
Принцип дії	Інтенсивна сепарація під дією відцентровій силі та ударами об прутки	Рух вороху коренеплодів вздовж гвинтової лінії шнеку з одночасним видаленням ґрунту
Інтенсивність очищення	Висока. Найефективніше працюють на важких та вологих ґрунтах	Середня. Дієвий для видалення легких домішок та не зв'язаного ґрунту.
Вплив на коренеплоди	Значний ризик отримання механічних пошкоджень (злам хвостиків) при високих частотах обертання	Більш «м'яке» переміщення, при мінімальних пошкодженнях поверхні
Пропускна здатність	Обмежена діаметром турбіни	Висока. Завдяки постійній осьовій швидкості вороху
Енергоємність	Висока, особливо при подоланні сили інерції значної маси коренеплодів	Дещо нижча, завдяки більш рівномірному руху
Самоочищення	Добре очищення завдяки відцентровому видаленню забруднень	Ймовірне забивання простору між витками

Порівняльний аналіз вказує на високу ефективність роторних (турбінних) очисників).

Волоха М.Н. у своїй монографії [5] проаналізував декілька конструкцій очисників коренеплодів та особливості їх роботи. Він зазначає, що очисники покликані очистити коренеплоди від зв'язаного з ними ґрунту, відсепарувати ґрунт, каміння, рослинні рештки, тому числі гичку і бур'яни.

Очисники мають забезпечити якісне та максимально повне очищення коренеплодів незалежно від фізико-механічних властивостей ґрунту.

Автор вказує на те, що найбільш поширеними у виробництві є вальцеві конвеєри – очисники, кулачкові конвеєри-очисники, пруткові конвеєри-очисники, турбінні конвеєри – очисники.

Основною проблемою всіх видів очисників є травмування коренів. Автор зазначає на необхідності застосування еластичних матеріалів (наприклад, поліуретану з повітряними камерами). Найбільш широко ці матеріали

використовують для футерування виконавчих елементів вальцових та кулачкових очисних систем. Завдяки зазору між вальцями має місце високий рівень сепарації ґрунту, що дуже важливо для роботи на перезволожених ґрунтах.

Використання одно- та двоконтурних систем пруткових очисних конвеєрів забезпечує не лише транспортування, а й активне перевертання вороху з інтенсивним виділенням ґрунтових та інших домішок.

Дуже широко на сучасній бурякозбиральній техніці використовуються турбінні очисні або підйомно-очисні системи. Відцентровий принцип сепарації визначає їх визначальну роль у високопродуктивних машинах, де динамічний вплив є основним елементом відокремлення домішок. Автор відзначає підвищену енергоємність даної конструкції і схильність до підвищеного пошкодження коренеплодів. Переваги та недоліки зазначених автором очисних (підйомно-очисних) систем можна систематизувати у вигляді таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Порівняльна характеристика очисників вороху коренеплодів [5].

Параметр порівняння	Вальцеві очисники	Турбінні очисники	Кулачкові очисники
Основна функція	Видалення рослинних решток та дрібного ґрунту	Інтенсивна сепарація на високих швидкостях	Руйнування міцних ґрунтових грудок
Ефективність на вологому ґрунті	Середня (схильні до залипання)	Низька (ефект «центрифуги» погіршується)	Висока (завдяки самоочищенню)
Рівень пошкодження коренів	Середній (небезпека защемлення хвостиків)	Високий (через відцентрові удари)	Високий (агресивний вплив лопатей)
Здатність до підйому вороху	Обмежена	Мінімальна (потрібен нахил вала)	Середня
Сепарація каміння	Добра (особливо з еластичними вальцями)	Низька (часті поломки прутків)	Низька (забиваються зазори)

Аналізуючи наведену інформацію автор робить наступні висновки:

– використання вальців виготовлених з поліуретану або покритих поліуретаном із «повітряною подушкою» (як у комбайнів фірми «Grimme») є

перспективним шляхом для зниження рівня травмування коренеплодів (10 – 15% збереженого урожаю в порівнянні зі сталевими);

- оптимальна схема системи очищення комбайна повинна виглядати наступним чином: кулачковий вал (для руйнування грудок) – турбіна (активна сепарація ґрунту) – вальцьовий конвеєр (кінцеве очищення, видалення рослинних решток;

- геометричний вплив на очищення: зміна зазорів між вальцями (вальцьовий очисник) або прутками (турбінний очисник) під час руху коренеплодів дасть можливість виводити домішки рівномірно, запобігаючи забиванню.

Колектив авторів [16] досліджували вплив різних типів підбирально-сепарувальних систем на інтенсивність очищення та, відповідно, механічні пошкодження коренеплодів цукрових буряків, а також впливу виявлених пошкоджень на втрати в процесі зберігання. Збирання урожаю проводили двома шестирядними комбайнами – один було оснащено осьовими роликowymi очисниками, другий – турбінними очисниками. Використовували три рівні інтенсивності очищення. По завершенню збирання коренеплоди зберігалися в кліматичній камері за температури 9⁰С протягом 5 і 12 тижнів. Результати показали, що діаметр зламу хвостика кореня та пошкодження його поверхні зростали зі збільшенням інтенсивності очищення. Причому, відмічено, що зламу хвостика більше спостерігається при роботі турбінного підбирально-сепарувального пристрою а поверхневе пошкодження коренеплоду більш характерне для роботи осьових роликowych очисників. Здавалося б, що турбінні робочі органи призводять до більшої втрати цукристої сировини, але було встановлено, що поверхневі пошкодження при зберіганні викликають ураженість коренеплодів цвілью та гнилями і як результат, втрати цукру. Таким чином, використання турбінних підбирально-сепарувальних робочих органів є більш ефективними, особливо за оптимального їх налаштування.

Ziegler K. у публікації розглядає позиції фахівців щодо переваг турбінного та роликowego очищення коренеплодів [15]. Тут акцентується увага

на тому, що при порівнянні цих двох типів робочих органів вирішальне значення має їх налаштування. Турбінна технологія вважається більш гнучкою, а також такою, що забезпечує більшу цілісність продукту, менші витрати пального при збиранні урожаю та коштів на виробництво бурякозбиральних комбайнів чи копачів. При цьому роликові підбирально-сепарувальні є стандартним обладнанням у виробників машин типу «Maus». Це підбирачі-навантажувачі вже викопаних і укладених у валок коренеплодів.

Бачимо, що різні автори зазначених робіт неоднозначні у своїх висновках і не можуть зупинити вибір на якомусь одному очисному чи підйомно-очисному робочому органі, тому що на цей вибір впливає дуже багато факторів, які можуть значно різнитися залежно від умов використання.

Тому у своїй роботі ми зупинимось на дослідженні деяких параметрів турбінного підйомно-очисного робочого органу копача коренеплодів цукрових буряків АЗБ-6.

2.2. Опис об'єкту розробки

2.2.1. Призначення копача АЗБ-6

Копач АЗБ-6 можна розглядати як аналог самохідної збиральної техніки. Він є елементом трифазної технології збирання коренів цукрових буряків. Завдяки впровадженню в конструкцію турбінного підйомно-очисного механізму, копач ефективно видаляє залишки ґрунту з поверхні коренеплодів безпосередньо в процесі виконання технологічного процесу.

2.2.2. Будова та процес роботи копача

Конструктивно копач складається з двох рам – передньої (2) та задньої (3) (рис. 2.1). Передня рама приєднується до навісної системи трактора, тоді як задня кріпиться до неї за допомогою шарнірного з'єднання. Задня частина задньої рами з'єднується з начіпним механізмом передньої рами через телескопічну тягу 8.

На передній рамі встановлений робочий орган копача комбінованого типу, до складу якого входять активні сферичні диски 5 (рис. 2.1), що працюють без приводу, а також пасивні елементи – лижі 4.

Залежно від ґрунтово-кліматичних умов змінюється взаємне розташування дисків і лиж, що дає змогу регулювати якість викопування коренеплодів. Передня рама спирається на опорні колеса 10 і 12 (рис. 3).

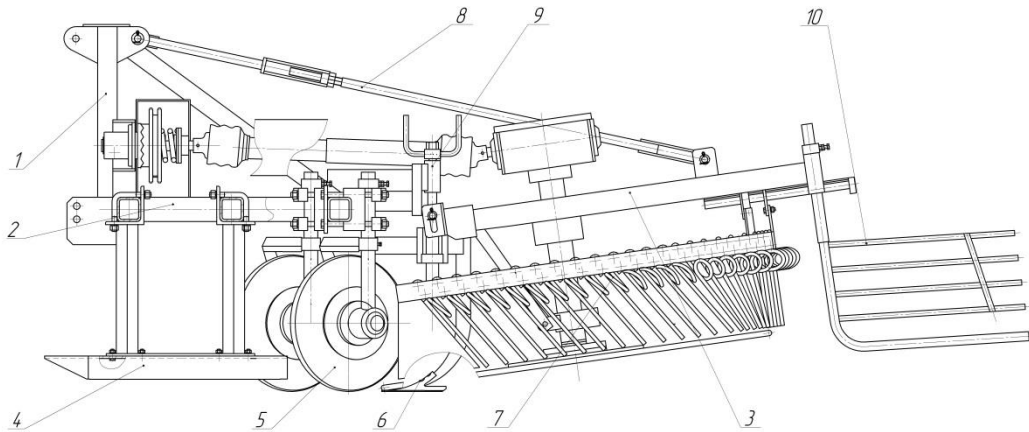


Рис. 2.1 Схема копача АЗБ-6 (вид збоку): 1 – навісний пристрій; 2 – рама передня; 3 – рама задня; 4 – лижа; 5 – диск викопуючий; 6 – лапа; 7 – решітка (дека) з пружинних пальців; 8 – регулюєма тяга; 9 – гвинтовий механізм; 10 – решітка валкоутворювача

На задній рамі розміщено два пруткові турбінні колеса 16 (рис. 2.2), призначені для підбирання викопаних коренеплодів цукрових буряків і їх очищення від ґрунту. Після проходження через турбіни буряки спрямовуються до валкоутворювача 10 (рис. 2.1).

Крутний момент на турбінні колеса передається від валу відбору потужності трактора через карданний вал 1, далі через ланцюгові передачі 2 і 3, запобіжні муфти 8 і 9, карданні вали 4 і 5, а також конічні редуктори 6 і 7 (рис. 2.2).

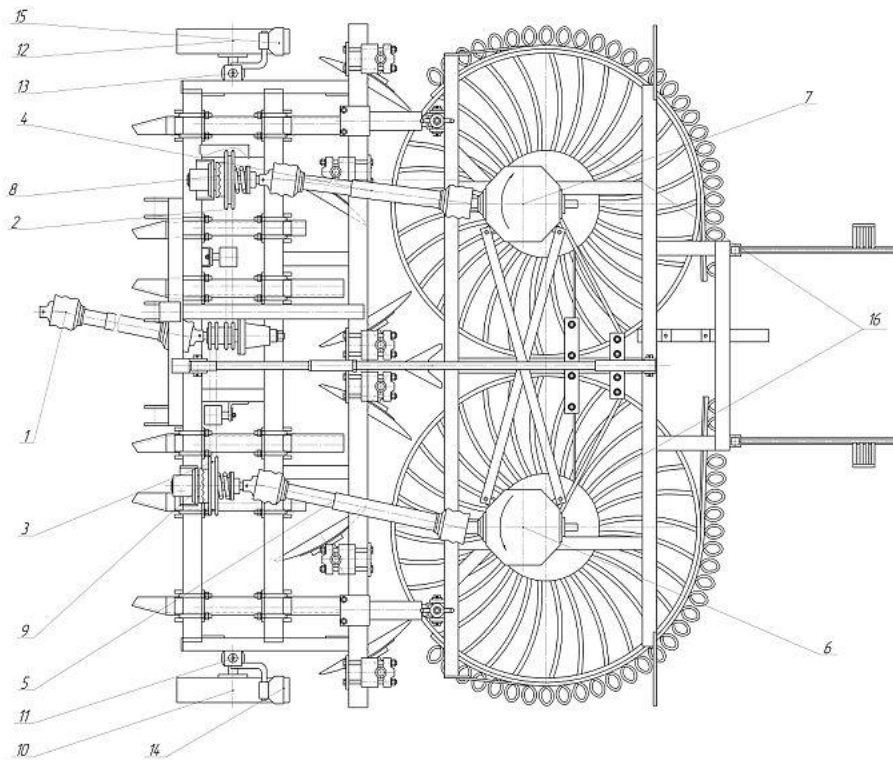


Рис. 2.2 Схема копача АЗБ-6 (вид зверху): 1 – вал карданний; 2, 3 – передачі ланцюгові; 4, 5 – карданні контрприводу турбін; 6, 7 – конічні редуктори; 8, 9 – муфти; 10, 12 – опорні колеса; 11, 13 – механізм регулювання положення коліс; 14, 15 – чистики; 16 – турбінні очисники-підбирачі

Положення лиж відносно поверхні ґрунту регулюється шляхом піднімання або опускання опорних коліс за допомогою гвинтових регулювальних механізмів 11 і 13 (рис. 2.2), а також зміною довжини поздовжньої тяги навісної системи трактора.

Глибина заглиблення диска (рис. 2.3) в ґрунт регулюється шляхом піднімання або опускання його стояка. Положення дисків відносно лиж (кут атаки) змінюється поворотом стояків у кронштейнах навколо їхньої осі.

Кут повороту диска щодо лижі встановлюється за допомогою шаблона, який входить до комплекту копача.

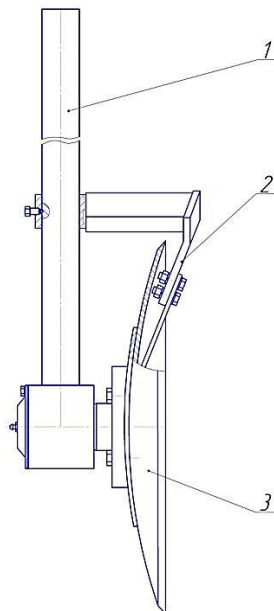


Рис. 2.3. Диск викопуючий: 1 – стояк, 2 – чистик, 3 – сферичний диск

Технологічний процес копача здійснюється таким чином. Після проходження гичкозбиральної машини механізатор, який керує копачем спрямовує його вздовж рядків. Під час руху лижі агрегату, переміщаючись по рядку буряків, створюють надлишковий тиск, унаслідок чого коренеплоди витискаються з ґрунту. Водночас активні диски підкопують їх і подають до турбін, де буряки інтенсивно очищуються від ґрунту та рослинних залишків. Після цього коренеплоди надходять до валкоутворювача, який формує валок.

2.2.3. Агротехнічні вимоги до бурякозбиральних агрегатів (комбайнів)

Одним із головних критеріїв ефективності роботи комбайна є ступінь повноти вилучення коренеплодів із ґрунту. Значення цього показника повинно перебувати на рівні не нижче 98%, при цьому допустимі втрати врожаю за комбайном не мають перевищувати 2%. Важливою умовою є забезпечення заданої глибини підкопування, яка має відповідати глибині залягання коренеплодів, що дозволяє уникнути їх деякого пошкодження або втрат.

Не менш суттєвим критерієм є рівень механічного пошкодження коренеплодів. У процесі збирання кількість травмованих буряків повинна бути обмежена та не перевищувати 5%. Це обумовлено тим, що механічні дефекти негативно впливають на збереженість коренеплодів та їх придатності до подальшої переробки.

Вміст домішок ґрунту та рослинних решток не повинен перевищувати 8 – 10%, що досягається завдяки ефективній роботі очисних робочих органів комбайна. Конструкція зазначених робочих органів має забезпечувати інтенсивне, але водночас щадне очищення коренеплодів без їх додаткового травмування.

Важливою умовою якісного виконання технологічного процесу є дотримання прямолінійності руху агрегату вздовж рядків. Це сприяє зменшенню втрат і забезпечує стабільну роботу викопувальних органів. Робоча швидкість руху агрегату повинна знаходитися в оптимальному діапазоні (як правило, 5 – 8 км/год), що дозволяє поєднати високу продуктивність із належною якістю збирання.

Крім того, бурякозбиральні агрегати повинні відповідати вимогам надійності, технологічності та зручності експлуатації. Важливими є можливість оперативного регулювання робочих органів, адаптація до змінних ґрунтово-кліматичних умов, а також зниження енергетичних витрат і мінімізація ущільнення ґрунту ходовими системами [5,6,22].

2.2.4. Аналіз недоліків та пропозиції щодо удосконалення конструкції копача

У підбирально – сепаруючих турбінах копача застосовується пояс із пружинних пальців, виготовлених зі сталевго прутка діаметром 12 мм. Відстань між пальцями по вертикалі становить приблизно 60 мм. Під час процесу сепарації, коли хвостик коренеплоду потрапляє у цей зазор, можливе його пошкодження або відламування, що спричиняє втрати цукровмісної

сировини. Окрім цього, така конструкція характеризується значною металоємністю, що ускладнює транспортування і негативно впливає на керованість бурякозбирального агрегату.

В модернізованому варіанті турбінного підбирально-сепаруючого пристрою пропонується відмовитися від поясу з пружинних пальців, розташованих навколо турбін, і замінити їх на приварені прутки (боковини) з горизонтальним зазором 50 мм (рис. 2.4, рис. 2.5, рис. 2.6) Таке рішення дає змогу зменшити ризик пошкодження коренеплодів, зберігаючи при цьому належний рівень їх очищення.

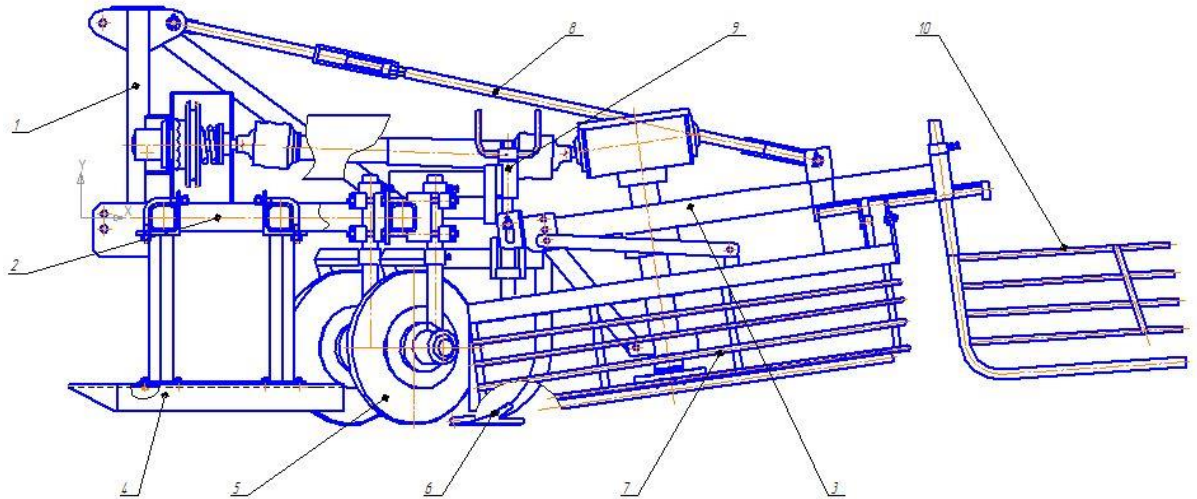


Рис. 2.4. Схема модернізованого копача АЗБ-6 (вид збоку): 1 – навісний пристрій; 2 – рама передня; 3 –рама задня; 4 – лижа; 5 – диск викопуючий; 6 –лапа; 7 –решітка (дека) з паралельних прутків; 8 – регулюєма тяга; 9 – гвинтовий механізм; 10 – решітка валкоутворювача

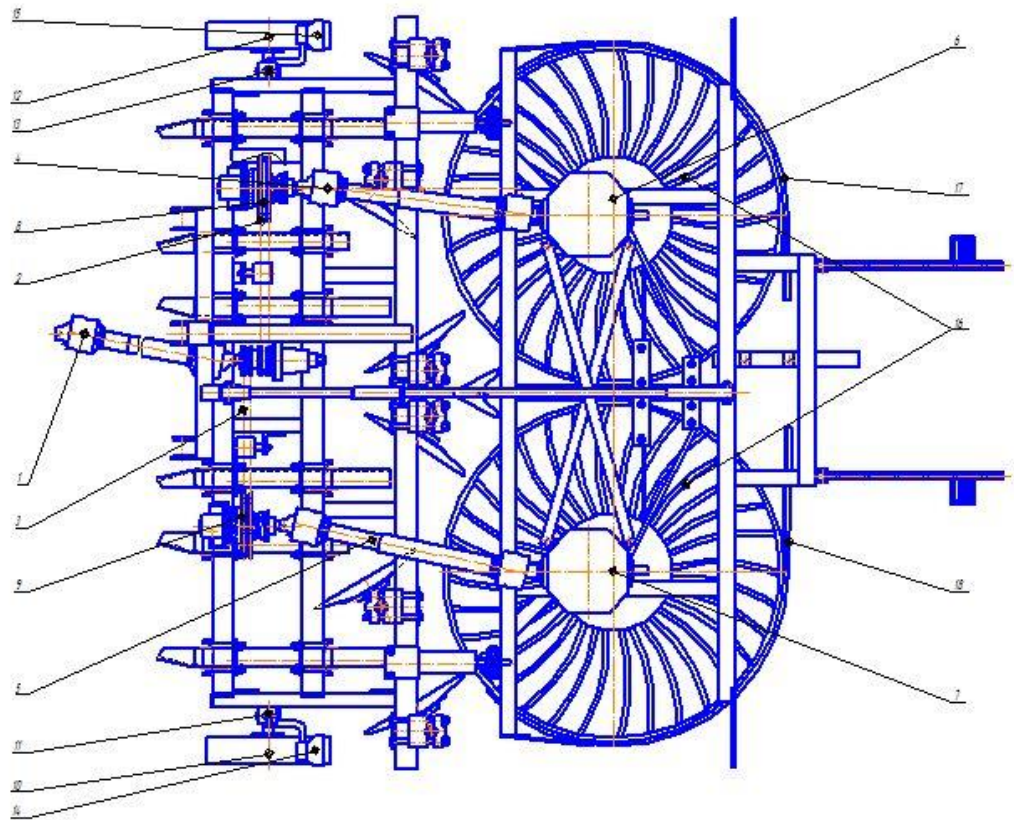


Рис. 2.5. Схема модернізованого копача АЗБ-6 (вид зверху): 1 – вал карданний; 2, 3 – передачі ланцюгові; 4, 5 – карданні контрприводу турбін; 6, 7 – конічні редуктори; 8, 9 – муфти; 10, 12 – опорні колеса; 11, 13 – механізм регулювання положення коліс; 14, 15 – чистики; 16 – турбінні очисники–підбирачі

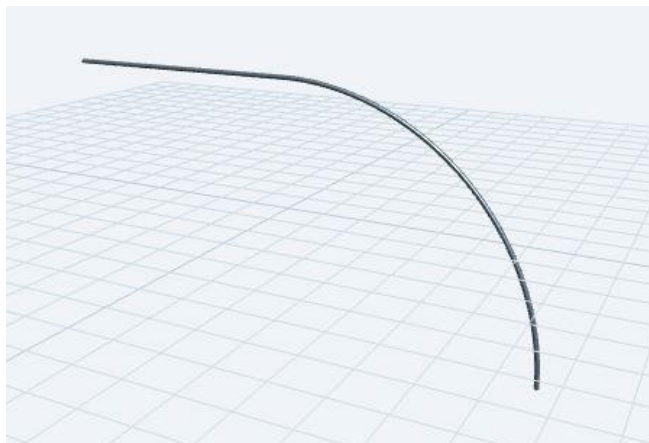


Рис. 2.6. Модель прутка (боковини) турбінного очисника

Висновки по розділу. У результаті проведеного аналізу встановлено, що існуючі конструкції підбирально-очисних та очисних робочих органів мають ряд суттєвих недоліків, зокрема підвищене травмування коренеплодів і значну

енергоємність процесу. Найбільш ефективними є турбінні системи, однак вони потребують удосконалення. Запропонована модернізація конструкції копача АЗБ-6 дозволяє знизити пошкодження буряків, покращити якість очищення та підвищити експлуатаційні показники бурякозбирального агрегату.

3. НАУКОВА ЧАСТИНА

3.1. Мета та задачі досліджень

Мета роботи – модернізація начіпного копача цукрових буряків шляхом удосконалення конструкції роторного (турбінного) очисника коренеплодів та обґрунтування його параметрів, які забезпечили б зменшення рівня пошкодження коренеплодів і зниження енергетичних витрат.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз конструктивних особливостей і технологічних схем існуючих копачів цукрових буряків та їх очисних пристроїв;
- обґрунтувати напрями модернізації конструкції копача й розробити вдосконалену конструктивну схему роторного очисника;
- теоретично обґрунтувати впливу частоти обертання турбінних коліс роторного підбирача-очисника на пошкодження коренеплодів цукрових буряків.

Об'єктом дослідження є технологічний процес очищення коренеплодів цукрових буряків від ґрунтових та рослинних домішок під час роботи начіпного копача.

Предметом дослідження є конструктивні та кінематичні параметри роторного (турбінного) очисника, що визначають якість і енергоємність технологічного процесу.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в теоретичному обґрунтуванні впливу частоти обертання турбінних коліс роторного очисника на пошкодження коренеплодів цукрових буряків.

3.2. Аналіз конструкцій бурякозбиральних машин.

Останні десятиліття виробники бурякозбиральної техніки обрали шлях на створення самохідних комбайнів здатних виконувати весь комплекс робіт по збиранню всього урожаю (коренеплодів і гички) за один прохід. Нажаль, очевидним є те, що альтернативи самохідним (інтегральним) комбайнам трапляються дедалі рідше, хоча, все ж існує невелика група виробників, які продовжують відстоювати інший підхід – розділення процесу збирання

цукрових буряків на окремі етапи. Тут потрібно враховувати наступні фактори: площа збирання, конфігурація полів і наявних трудових ресурсів.

Вагомою альтернативою самохідним комбайнам є начіпні або причіпні машини, які з успіхом можуть використовуватися в дво – або трифазових технологіях збирання цукрових буряків з урахуванням їх комплектації.

Компанія Franquet залишається прихильною до концепції розділеного збирання і пропонує ринку модель *SBH 6 D* (рис. 3.1) [21]. При вартості інтегрального комбайна

У порівнянні з базовими інтегральними комбайнами, вартість яких перевищує 350000 євро, ця машина виглядає значно доступнішою, так як її ціна коливається в межах 100000 – 150000 євро залежно від комплектації та наявності фронтального гичкоріза.



Рис. 3.1. Копач *Franquet SBH 6 D*

Машина оснащена дисковим викопуючим пристроєм з дисками діаметром 580 мм, забезпечує ефективну роботу в різних умовах і на різних типах ґрунтів.

Машина оснащена механічним приводом, що позитивно впливає на зниження витрат і підвищення економічності. В її конструкції передбачено дві підбиральні турбіни діаметром 1,4 м , а також дві очисні – діаметром

1,7 м і 1,4 м. Вони можуть комплектуватися як решітками з прямими прутами, так і пружинними, і що важливо, з можливістю регулювання по висоті.

Зібраний урожай подається елеватором у бункер місткістю 6 м^3 , який розвантажується за допомогою гідравлічного стрічкового елеватора шириною 1 м. Це забезпечує можливість завантаження причепів на висоту до 4,2 м. Має орієнтовну продуктивність до $1 \frac{\text{га}}{\text{год}}$.

Дана машина має ряд недоліків. По – перше, це пошкодження коренеплодів. Через інтенсивну роботу чотирьох турбін при високих обертах або в сухих умовах можливе травмування буряків. Це особливо небажано, якщо зібраний урожай буде певний час зберігатися в очікуванні подальшої переробки. По – друге, за неправильних налаштувань або на нерівних полях частина коренеплодів може залишатися на полі або випадати під час роботи. По – третє, у вологому чи липкому ґрунті можливе забивання турбін, на важких ґрунтах ефективність роботи знижується. На сухих ґрунтах машина може працювати надто агресивно, пошкоджуючи буряки.

Схожим за будовою та виконанням технологічного процесу є бурякозбиральний комбайн (копач) *Kleine 5000* (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Бурякозбиральний комбайн *Kleine 5000*.

Бурякозбиральний комбайн *Kleine 5000* (серії *SF/Kleine 5000*) оснащений лемішним копачем, класичною турбінною системою підбирання та

очищення, подібною за принципом до інших машин свого покоління, але з деякими конструктивними особливостями. Об'єм бункера – 5 м³. Продуктивність – 0,5 – 1,0 га/год.

Комбайн має схожі недоліки з попередньою машиною. Турбінна система працює досить жорстко – можливі удари, тріщини та інші травмування буряків. На якість його роботи суттєво впливають ґрунтові умови. У вологому ґрунті можливе забивання, у сухому спостерігається агресивна робота, на важких ґрунтах має місце зниження ефективності. Машина висуває високі вимоги до налаштувань при підготовці до роботи.

Бурякозбиральний комбайн *Tim M III SA TE 120* (рис. 3.3) більше орієнтований на середні господарства, має великий бункер (~12 м³), але меншу продуктивність (0,3 – 0,6 га/год) ніж *Kleine 5000*.



Рис. 3.3. Бурякозбиральний комбайн *Tim M III SA TE 120*.

Він має дискові викопуючі органи, що позитивно впливає на якість викопування на низьку пошкоджуваність коренеплодів. Через невелику ширину захвату підбирально-очисні турбіни мають невеликий діаметр, що негативно впливає на їх очисну здатність та сприяє підвищеному рівню пошкодження буряків.

Ще одна напівпричіпна машина представлена на наших полях. Це бурякозбиральний комбайн *Rootster 604 Grimme* (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Бурякозбиральний комбайн *Rootster 604 Grimme*

Це проста, надійна шестирядна машина, оснащена перевантажувальним бункером об'ємом 6 м³. Викопування коренеплодів здійснюється дисковими копачами з гідравлічним приводом. Система очищення складається з двох блоків (рис. 3.5).



Рис. 3.5. Очисна система бурякозбирального комбайна *Rootster 604 Grimme*

Перший блок являє собою поперечний вальцьовий стіл, який складається з одного гладенького, чотирьох спіральних і двох звужувальних вальців. Другий блок представлений трьома очисними турбінами діаметром 1700/1350/1350 мм. Така конструкція забезпечує максимально якісну сепарацію ґрунту, відділення від урожаю коренеплодів рослинних решток. Однак, активна двоблокова система очищення має серйозний недолік. Інтенсивне очищення супроводжується пошкодженням та травмуванням коренів, що призводить до втрати цукристої сировини.

Подібного агрегування, що і попередні машини є комбайн для збирання коренеплодів цукрових буряків *Stoll V 202* (рис. 3.6). На відміну від попередніх є дворядною машиною. Звісно, продуктивність його буде значно меншою зазначених вище. Він також відноситься до класу бункерних. Конструктивно комбайн оснащено копиром водіння, дисковими копачами, і як і попередні машини – турбінним очисником. До системи очищення також долучено завантажувальний транспортер.



Рис. 3.6. Бурякозбиральний комбайн *Stoll V 202*

Використовується здебільшого для викопування буряків на невеликих площах. Щодо недоліків, то наявність турбінного (роторного) очисника може спричинити травмування коренеплодів

Серйозним конкурентом розглянутої закордонної техніки є начіпний копач вітчизняного виробництва АЗБ-6 (ВАТ «Уманьферммаш»).

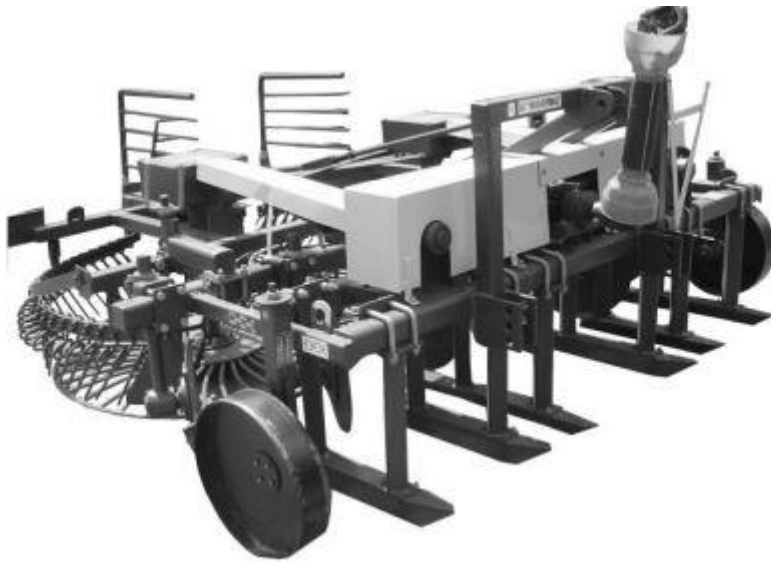


Рис. 3.6. Копач цукрових буряків АЗБ-6

Завдяки тому, що це начіпна машина, агрегат створений на його основі є більш маневреним. Бачимо, що копач не має бункера, що робить його набагато менш матеріалоемним ніж аналоги. Застосовується здебільшого в трифазній технології збирання урожаю з невеликих площ. Викопуючий робочий орган – «диск-лижа». Він є чудовою альтернативою вартісній закордонній техніці.

Спільним для всіх розглянутих машин є використання турбінних (роторних) очисників, а в деяких випадках з функцією підбирання.

Турбінне (роторне) очищення і підбирання – це своєрідний компроміс між простотою конструкції та ефективністю. Воно добре проявляє себе в середніх умовах і за правильного налаштування, але поступається універсальністю альтернативним рішенням (наприклад, стрічковим або роликовим системам), особливо в складних польових умовах. Слід зазначити, що тут можливе підвищене в порівнянні з іншими системами травмування коренеплодів.

3.3. Теоретичне обґрунтування впливу частоти обертання турбінних коліс роторного підбирача-очисника на пошкодження коренеплодів цукрових буряків

Збереження цілісності та неушкодженості коренеплодів цукрових буряків у процесі механізованого збирання є одним із головних агротехнічних показників роботи бурякозбиральних машин. Пошкоджені коренеплоди схильні

до прискореного мікробіологічного розкладання, що призводить до втрат цукристої речовини під час зберігання та знижує вихід готової продукції. За вимогами нормативних документів частка пошкоджених коренеплодів у зібраному ворохі не повинна перевищувати 5 % [2,11]. Одним з робочих органів машини АЗБ-6, який безпосередньо взаємодіє з коренеплодами, є турбінний (роторний) підбирач - очисник (рис. 2.2, поз. 16,), до складу якого входять два турбінних колеса діаметром $D = 1300$ мм. Праве колесо обертається проти годинникової стрілки, ліве – за годинниковою стрілкою, що забезпечує зустрічне захоплення та переміщення вороху [17].

Характер взаємодії прутків турбінного колеса з коренеплодами в першу чергу залежить від частоти обертання n (Рис. 3.7). Надмірне значення n призводить до зростання швидкості контактування прутків з коренеплодами та відповідного зростання сили удару, що може спричинити механічні пошкодження. Водночас, зменшення n нижче деякого мінімального рівня знижує ефективність виділення домішок і погіршує якість очищення [5,6,7,17]. Таким чином, визначення оптимального діапазону частоти обертання є задачею, що потребує теоретичного обґрунтування.

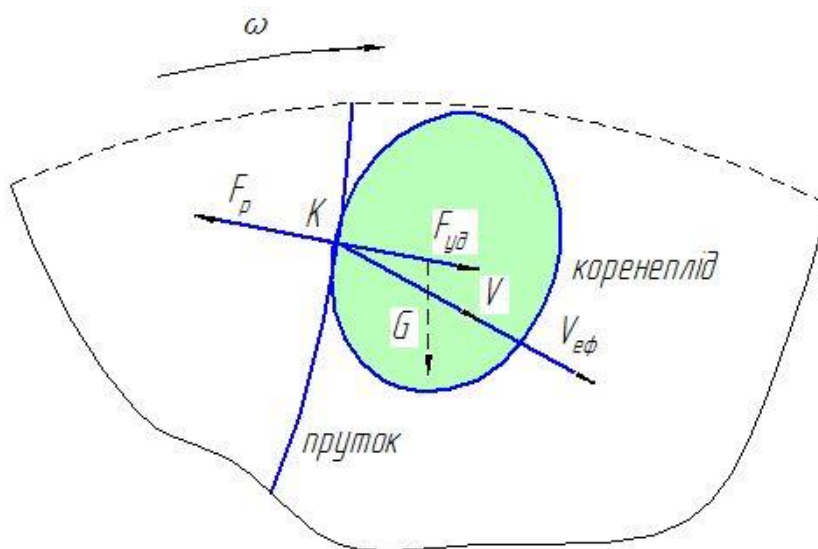


Рис. 3.7. Схема взаємодії коренеплоду з прутком роторного очисника (турбіни)

Лінійна швидкість країв прутків турбінного (роторного) колеса, яка визначає відносну швидкість контакту з коренеплодом, визначиться

$$v = \pi \cdot D \cdot n / 60, \quad (3.1)$$

де v – лінійна швидкість периферійної частини колеса, м/с;

D – діаметр турбінного колеса, м;

n – частота обертання, об/хв.

З урахуванням можливого конструктивного діапазону частот обертання $n = 50 \dots 400$ об/хв та $D = 1,3$ м швидкість периферії буде змінюватися у межах

$$v_{min} = \pi \cdot 1,3 \cdot 50 / 60 \approx 3,4 \text{ м/с}, \quad (3.2)$$

$$v_{max} = \pi \cdot 1,3 \cdot 400 / 60 \approx 27,2 \text{ м/с}. \quad (3.3)$$

Так як прутки не захоплюють коренеплід повністю (між ними відбувається ковзання і пружна деформація), ефективна швидкість контакту визначається через коефіцієнт передачі швидкості $k = 0,15 \dots 0,20$ [6,7]

$$v_{\text{еф}} = k \cdot v = k \cdot \pi \cdot D \cdot n / 60, \quad (3.4)$$

де $v_{\text{еф}}$ – ефективна швидкість впливу прутків на коренеплід, м/с;

k – коефіцієнт передачі швидкості (для турбінних очисників $k = 0,18$ [4]).

При $k = 0,18$ ефективна швидкість при $n = 50$ об/хв становить 0,61 м/с, при $n = 400$ об/хв – 4,90 м/с.

Важливим фізичним параметром, який зумовлює пошкодження коренеплоду, є питома кінетична енергія удару прутка – кількість механічної енергії, що передається одиниці маси коренеплоду при контакті [23]

$$E_k = 0,5 \cdot v_{\text{еф}}^2 = 0,5 \cdot k^2 \cdot (\pi \cdot D \cdot n / 60)^2 \quad (3.5)$$

Підставивши вираз (3.4) у (3.5), отримаємо квадратичну залежність питомої кінетичної енергії від частоти обертання:

$$E_k = 0,5 \cdot k^2 \cdot \pi^2 \cdot D^2 \cdot n^2 / 3600 \propto n^2 \quad (3.6)$$

Дана залежність має важливе значення: збільшення частоти обертання з 50 до 400 об/хв призводить до зростання питомої енергії удару з 0,19 до 12,01 Дж/кг), що нелінійно підвищує ризик пошкодження.

Зважаючи на те, що заявлена виробником частота обертання турбінних коліс складає 67,5 об/хв то для такого значення питома кінетична енергія удару прутка складе 0,343 Дж/кг.

З урахуванням даних досліджень [1,14,23] міцнісних властивостей коренеплодів цукрових буряків, можна виділити два граничних рівні питомої кінетичної енергії:

- поріг виникнення мікротріщин: $E_{k1} \approx 6,76$ Дж/кг, якому відповідає $n \approx 300$ об/хв;
- поріг явного пошкодження (тріщини з розривом тканини): $E_{k2} \approx 9,20$ Дж/кг, якому відповідає $n \approx 350$ об/хв.

Розрахована енергія при $n = 67,5$ об/хв складає лише 0,343 Дж/кг, що у 19,7 рази менше від E_{k1} . Режим є повністю безпечним для коренеплодів.

Відповідна графічна залежність наведена на рисунку 3.8.

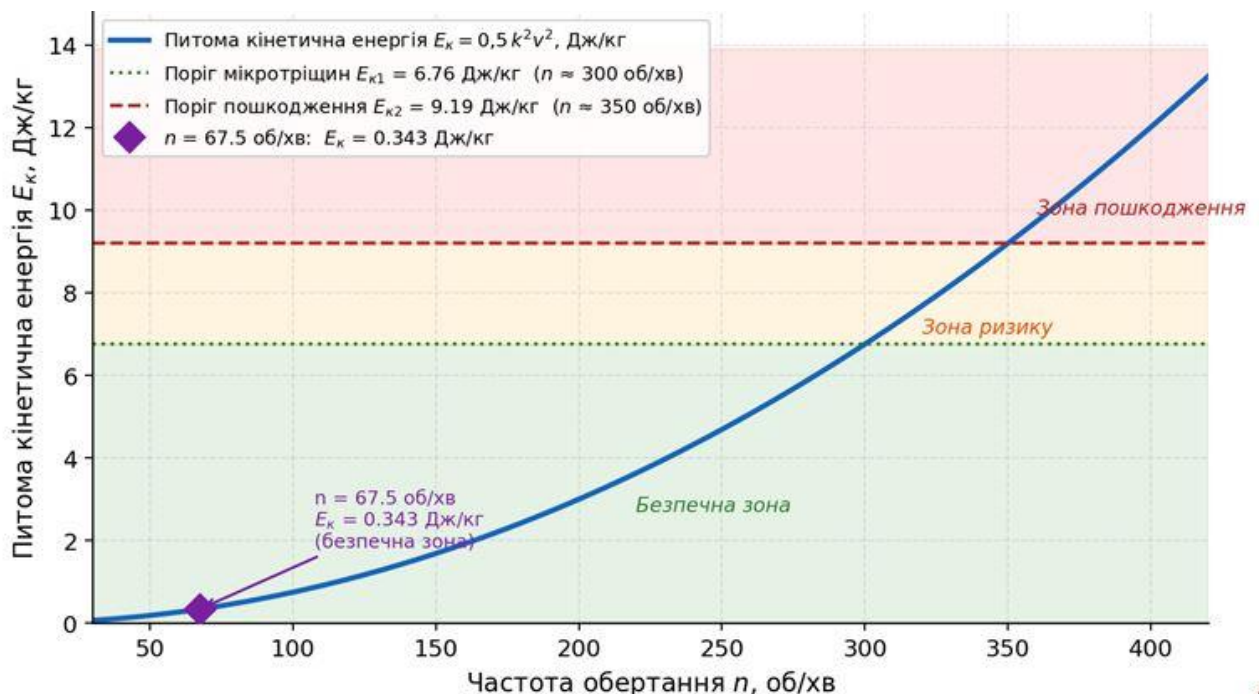


Рис. 3.8. Графічна залежність питомої кінетичної енергії удару прутків від частоти обертання турбінних коліс роторного очисника

Дослідимо баланс ступеню очищення та коефіцієнта пошкодження. Ступінь очищення $\eta_{\text{оч}}$ описується функцією насичення, яка відображає прогресивне зростання ефективності з початковим крутим підйомом і виходом на плато при великих n [1,14,23].

$$\eta_{\text{оч}}(n) = [1 - \exp(-k_i \cdot (n - n_0))] \cdot 100 \%, \quad (3.7)$$

де $k_i = 0,008$ – коефіцієнт інтенсивності очищення;

$n_0 = 50$ об/хв – початкова частота обертання, при якій починається процес очищення.

Коефіцієнт пошкодження $k_{\text{п}}$ описується логістичною (S -подібною) залежністю з точкою перегину при $n_{\text{кр}} = 350$ об/хв [1,14]

$$k_{\text{п}}(n) = 100 / [1 + \exp(-\beta \cdot (n - n_{\text{кр}}))] \%, \quad (3.8)$$

де $\beta = 0,030$ – коефіцієнт крутизни кривої;

$n_{\text{кр}} = 350$ об/хв – критична частота обертання (точка перегину S -кривої).

При $n = 67,5$ об/хв

$$k_{\text{п}} = 100 / [1 + \exp(-0,030 \cdot (67,5 - 350))] \approx 0,021 \, \%.$$

Результати (Рис. 3.9) свідчать: при $n = 67,5$ об/хв коефіцієнт пошкодження $k_{\text{п}} = 0,021 \, \%$ є у 238 разів нижче агротехнічних вимог у 5%, проте ступінь очищення $\eta_{\text{оч}} = 13,1 \, \%$, що є абсолютно недостатнім. Агротехнічні вимоги ($\eta_{\text{оч}} \geq 80 \, \%$) виконуються лише при $n \geq 250$ об/хв. Оптимальна частота обертання турбінних коляс повинна складати $n_{\text{опт}} \approx 255$ об/хв.

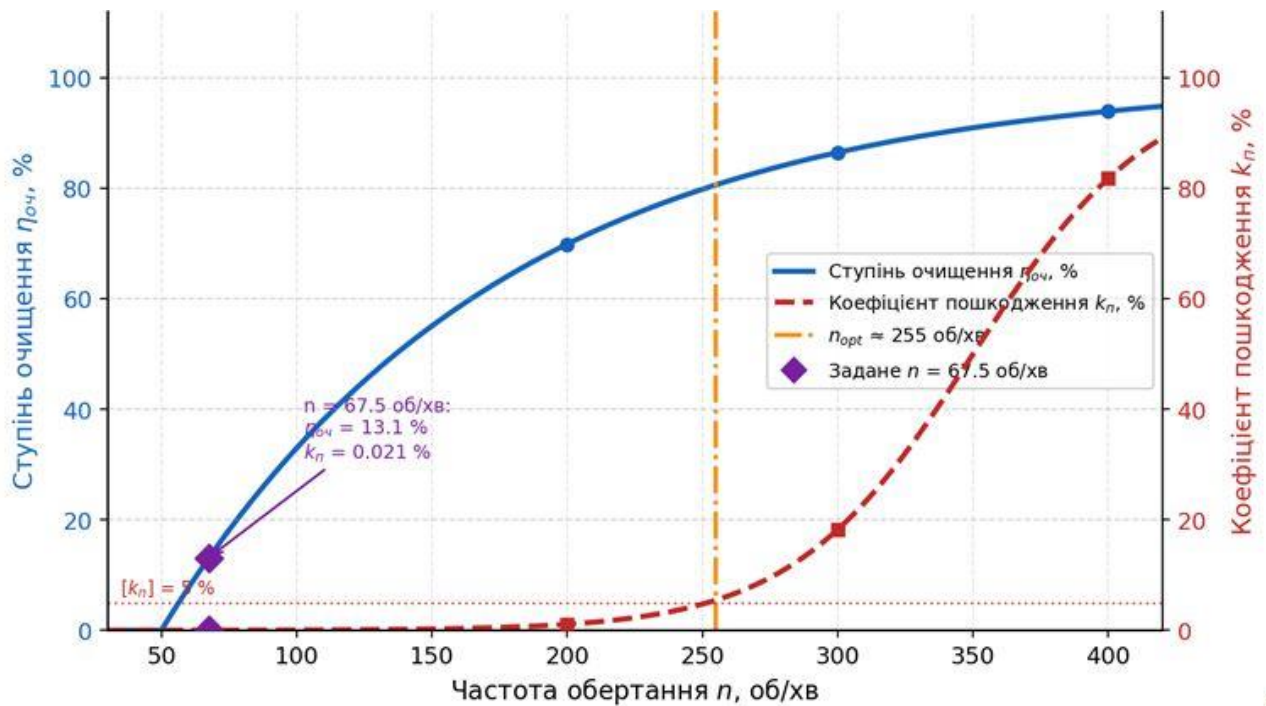


Рис. 3.9. Залежність ступеню очищення та коефіцієнта пошкодження від частоти обертання турбінних коліс роторного очисника

Потужність, яка необхідна для приводу двох турбінних коліс визначається за формулою для відцентрового вентилятора [6]

$$N_{\text{тот}} = 2 \cdot \rho \cdot k_{\Pi} \cdot n^3 \cdot D^5 / \eta, \quad (3.9)$$

де $\rho = 1,225 \text{ кг/м}^3$ – густина повітря;

$k_{\Pi} = 4,643$ – коефіцієнт потужності вентилятора;

n – частота обертання, об/с;

$\eta = 0,88$ – ККД ланцюгово-конічної передачі.

При $n = 67,5 \text{ об/хв} = 1,125 \text{ об/с}$

$$N_{\text{тот}} = 2 \cdot 1,225 \cdot 4,643 \cdot 1,125^3 \cdot 1,3^5 / 0,88 \approx 0,069 \text{ кВт.}$$

Потужність при $n = 67,5 \text{ об/хв}$ у 87 разів менша, ніж при $n = 300 \text{ об/хв}$ (5,995 кВт). Кубічна залежність $N \propto n^3$ забезпечує низькі енерговитрати, однак вони не компенсують незадовільної якості очищення (Рис. 3.10).

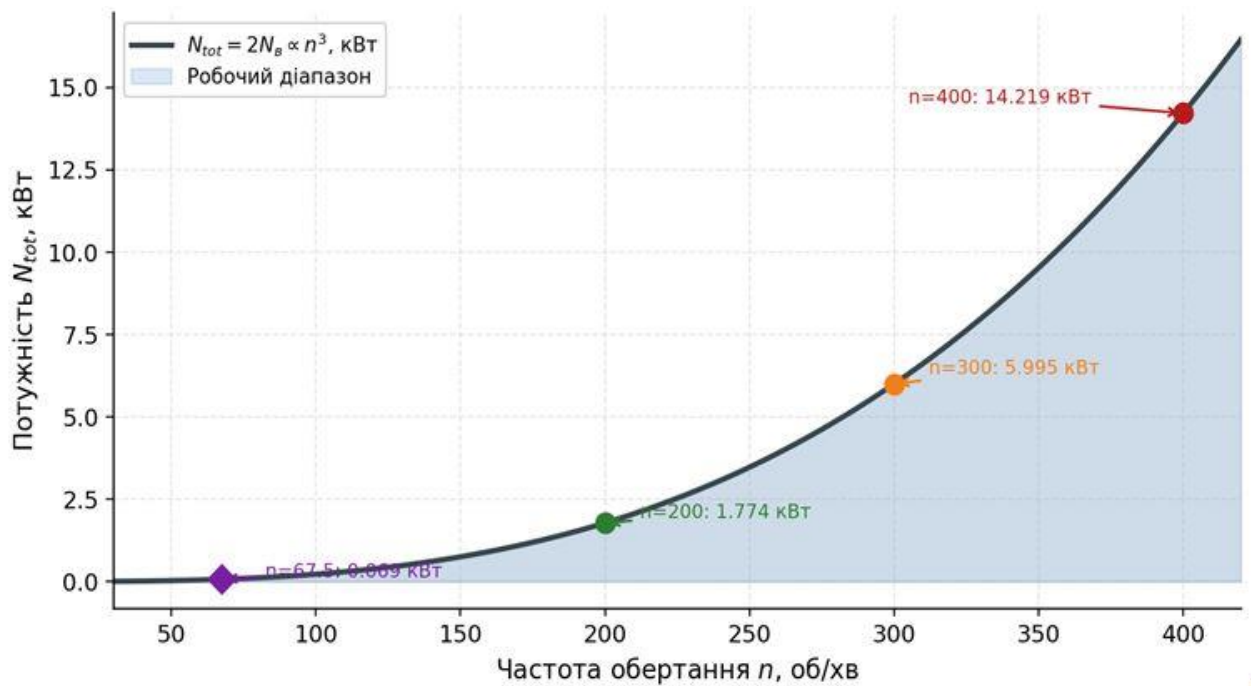


Рис. 3.10. Залежність потужності приводу двох турбінних коліс роторного очисника від частоти їх обертання

Результати розрахунків зведемо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахункові значення параметрів роторного (турбінного) очисника – підбирача АЗБ-6

Параметр	$n = 67,5$	$n = 100$	$n = 200$	$n = 250$	$n = 300$	$n = 400$
Швидкість прутка v , м/с	4,60	6,79	13,60	17,03	20,42	27,23
Ефективна швидкість v_{ef} , м/с	0,828	1,223	2,449	3,065	3,675	4,901
Питома енергія удару E_k , Дж/кг	0,343	0,748	2,998	4,696	6,752	12,009
Ступінь очищення $\eta_{оч}$, %	13,1	32,9	69,8	79,8	86,5	93,9
Коефіцієнт пошкодження $k_{п}$, %	0,021	0,055	1,094	4,761	18,21	81,75
Потужність N_{tot} , кВт	0,069	0,221	1,774	3,478	5,995	14,220

Аналіз таблиці 3.1 підтверджує, що умова $k_{п} \leq 5\%$ [11] виконується лише при $n \leq 250$ об/хв, тоді як достатній ступінь очищення ($\eta_{оч} \geq 80\%$) досягається вже при $n = 250$ об/хв. Тобто оптимальний режим роботи за критерієм мінімізації пошкодження коренеплодів відповідає частоті обертання $n = 240 \dots 260$ об/хв.

Особливістю роботи роторного очисника – підбирача машини АЗБ-6 є те, що турбіни обертаються назустріч одна одній. Зустрічне обертання двох турбінних коліс формує у міжколісному просторі зону конвергентних потоків, де коренеплоди піддаються одночасному впливу з боку обох коліс. У цій зоні кінетична енергія впливу на коренеплід зростає внаслідок подвійного контакту. Результуючий коефіцієнт підсилення енергетичного впливу

$$E_{\text{рез}}^k = k_{\text{під}} \cdot E^k, \quad (3.10)$$

де $k_{\text{під}} = 1,2 \dots 1,6$ – коефіцієнт підсилення, який залежить від взаємного розташування турбінних коліс та геометрії прутків [1,7].

Тоді

$$E_{\text{рез}}^k = 1,4 \cdot 0,343 = 0,480 \text{ Дж/кг}$$

Бачимо, що результуюча питома енергія у міжколісній зоні $E_{\text{рез}}^k \approx 0,480 \text{ Дж/кг}$ у 14,1 рази нижче від порогу мікропошкоджень $E_1^k = 6,752 \text{ Дж/кг}$. Зазначений режим роботи є безпечним для коренеплодів в плані нанесення їм пошкоджень, однак механічний вплив на домішки також недостатній для їх ефективного відриву від поверхні коренеплодів.

Крім того, зустрічне обертання забезпечує самоцентрування коренеплодів у міжколісній зоні та їх рівномірний розподіл по ширині очисника, що позитивно впливає на рівномірність очищення.

Наведені теоретичні дослідження восстановлено такі закономірності впливу частоти обертання турбінних коліс роторного очисника машини АЗБ-6 на пошкодження коренеплодів цукрових буряків:

1. Швидкість периферії $v = 4,60 \text{ м/с}$, ефективна швидкість контакту $v_{\text{еф}} = 0,828 \text{ м/с}$ – у 4,44 рази менша, ніж при $n = 300 \text{ об/хв}$.
2. Питома кінетична енергія удару $E^k = 0,343 \text{ Дж/кг}$ є у 19,7 рази меншою від порогу мікропошкоджень $E_1^k = 6,76 \text{ Дж/кг}$. Пошкодження коренеплодів повністю виключається.
3. Коефіцієнт пошкодження $k_1 \approx 0,021 \%$ є у 238 разів менше передбаченого агротехнічними вимогами (5 %) [11] – безпечний режим роботи.

4. Ступінь очищення $\eta_{\text{оч}} \approx 13,1\%$ є недостатнім, відповідно до агротехнічних вимог $\eta_{\text{оч}} \geq 80\%$ виконується лише при $n \geq 250$ об/хв.

5. Потужність приводу $N_{\text{тот}} \approx 0,069$ кВт – мінімальна ($N \propto n^3$), але не компенсує незадовільної якості очищення.

6. Режим $n = 67,5$ об/хв забезпечує нульовий рівень пошкодження коренеплодів, але є непридатним для самостійної якісної роботи. Машину необхідно застосовувати лише в трьохфазній технології з урахуванням того, що достатнє з точки зору агротехнічних вимог очищення коренеплодів забезпечуватиметься завантажувально – сепарувальними робочим органами навантажувача.

Висновки по розділу. У розділі виконано аналіз конструкцій бурякозбиральних машин і встановлено, що найбільш поширені турбінні (роторні) очисники характеризуються ефективністю, але спричиняють пошкодження коренеплодів. Обґрунтовано необхідність удосконалення їх параметрів і режимів роботи. Теоретично досліджено вплив частоти обертання турбінних коліс роторного очисника на процес очищення та травмування буряків. Встановлено, що зі збільшенням частоти обертання підвищуються швидкість контакту і кінетична енергія удару, що зумовлює зростання пошкоджень, тоді як при малих значеннях погіршується якість очищення. Визначено раціональний діапазон частоти обертання 240 – 260 об/хв, за якого забезпечується необхідний ступінь очищення при допустимому рівні пошкоджень. Отримані результати підтверджують можливість підвищення ефективності роботи копача шляхом оптимізації параметрів роторного очисника.

4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Теоретичними дослідженнями наведеними в попередньому розділі встановлено діапазон раціональних значень частоти обертання турбінних коліс роторного очисника коренеплодів. Ці значення коливаються в межах 240–270 об/хв. Проведемо силовий та кінематичний аналіз механізму приводу копача АЗБ-6 на предмет адекватності теоретичних передбачень.

4.1. Кінематичний розрахунок.

Кінематичний розрахунок полягає у визначенні частот обертання та кутових швидкостей на валах привідного механізму. На рис. 4.1 наведено кінематичну схему приводу копача.

Розрахунок частот обертання валів виконують з урахуванням того, що передача крутного моменту до турбін здійснюється двома ідентичними кінематичними ланцюгами, тому достатньо розглянути один із них.

Частота обертання першого валу відповідає частоті обертання валу відбору потужності трактора і дорівнює $n_I = 540$ об/хв.

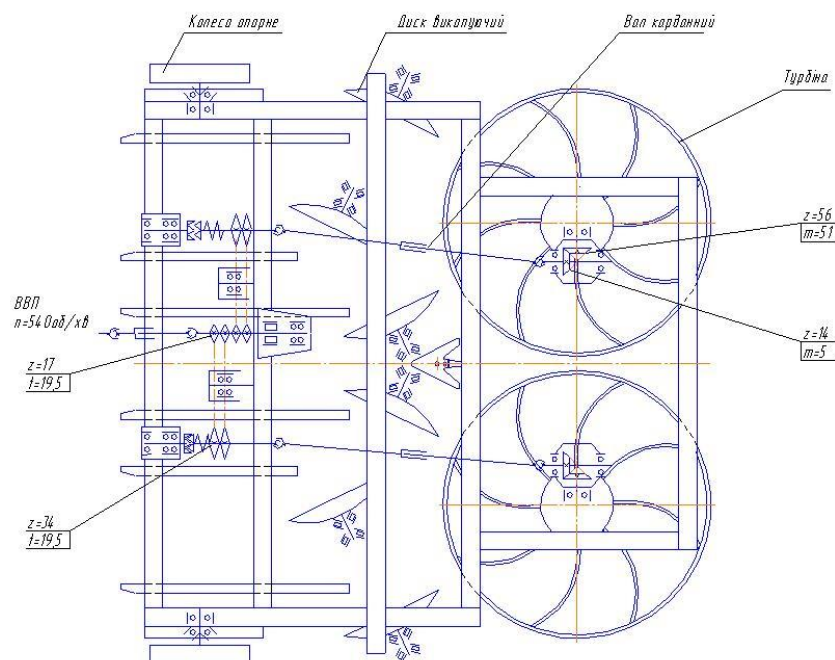


Рис. 4.1. Кінематична схема механізму приводу копача

На валах контрприводу [8]

$$n_{II} = n_I \frac{z_1}{z_2} = 540 \frac{17}{34} = 270 \text{ об/хв} \quad (4.1)$$

$$n_{III} = n_{II} = 270 \text{ об/хв};$$

$$n_{IV} = n_{III} = 270 \text{ об/хв};$$

$$n_V = n_{IV} \frac{z_3}{z_4} = 270 \frac{14}{56} = 67,5 \text{ об/хв}$$

Кутові швидкості відповідних валів механізму приводу

Для цього скористаємось виразом [8]

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad (4.2)$$

де n – частота обертання валів, об/хв

$$\omega_I = \frac{3,14 \cdot 540}{30} = 56,5 \text{ с}^{-1}$$

$$\omega_{II} = \frac{3,14 \cdot 270}{30} = 28,26 \text{ с}^{-1}$$

$$\omega_{III} = \omega_{II} = 28,26 \text{ с}^{-1}$$

$$\omega_{IV} = \omega_{III} = 28,26 \text{ с}^{-1}$$

$$\omega_V = \frac{3,14 \cdot 67,5}{30} = 7,07 \text{ с}^{-1}$$

4.2. Силовий аналіз механізму

Обчислимо значення потужності, яка може передаватись через вал відбору потужності (ВВП) трактора [9,20]. Виробник зазначає, що одним із тракторів, з яким може агрегатуватися машина є трактор МТЗ-80. Для нього ефективна потужність двигуна складає $N_e = 58,9$ кВт.

$$N_{ВВП} = N_e \cdot \mu_{ВВП} - \frac{(R_{\text{коч.тр.}} + R_{\text{коч.м.}}) \cdot V_p \cdot \mu_{ВВП}}{3,6 \cdot \mu_{\text{тр}} \cdot \mu_{\text{б}}} \quad (4.3)$$

де $N_e = 58,9$ кВт – ефективна потужність двигуна;

$\mu_{\text{тр}} = 0,93$ - ККД трансмісії трактора;

$V_p = 6,4$ км/год – робоча швидкість агрегату;

$\mu_{\text{б}} = 0,88$ – коефіцієнт буксування;

$\mu_{ВВП} = 0,95$ – ККД ВВП трактора.

$R_{\text{коч.тр.}} + R_{\text{коч.м.}}$ - опори перекошування опорних коліс трактора і комбайна, відповідно, кН.

$$R_{\text{коч.тр.}} = G_{\text{тр}}(f + i) = 33,4(0,17 + 0,03) = 6,9 \text{ кН} \quad (4.4)$$

$$R_{\text{коч.м.}} = G_{\text{м}}(f + i) = 12,6(0,17 + 0,03) = 2,5 \text{ кН} \quad (4.5)$$

де $i = 0,03$ - величина нахилу схилу;

$f = 0,17$ - коефіцієнт опору кочення [9,20].

Тоді

$$N_{\text{ВВП}} = 58,9 \cdot 0,95 - \frac{(6,9 + 2,5) \cdot 6,4 \cdot 0,95}{3,6 \cdot 0,93 \cdot 0,88} = 36,5 \text{ кН}$$

Визначаємо потужність на кожному валу

$$N_I = N_{\text{ВВП}} = 36,5 \text{ кВт} \quad (4.6)$$

$$N_{II} = N_I \cdot \eta_{\text{лп}}^2 \cdot \eta_{\text{пк}}^3 \cdot \eta_{\text{м}} = 36,5 \cdot 0,92^2 \cdot 0,99^3 \cdot 0,98 = 29,4 \text{ кВт} \quad (4.7)$$

де $\eta_{\text{лп}} = 0,92$ – ККД ланцюгової передачі;

$\eta_{\text{пк}} = 0,99$ – ККД підшипників кочення;

$\eta_{\text{м}} = 0,98$ – ККД запобіжної муфти;

$$N_{III} = N_{II} \cdot \eta_{\text{шм}}^2 = 29,4 \cdot 0,98^2 = 28,2 \text{ кВт} \quad (4.8)$$

де $\eta_{\text{шм}} = 0,98$ – ККД шарнірної муфти

$$N_{IV} = N_{III} \cdot \eta_{\text{пк}}^2 = 28,2 \cdot 0,99^2 = 27,6 \text{ кВт} \quad (4.9)$$

$$N_V = N_{IV} \cdot \eta_{\text{зп}} \cdot \eta_{\text{пк}}^2 = 27,6 \cdot 0,97 \cdot 0,99^2 = 26,2 \text{ кВт} \quad (4.10)$$

де $\eta_{\text{зп}} = 0,97$ – ККД зубчатої передачі.

Обчислюємо крутний момент на відповідних валах

$$T_I = T_{\text{ВВП}} = \frac{N_I}{\omega_I} = \frac{36,5 \cdot 10^3}{56,5} = 646,0 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4.11)$$

$$T_{II} = \frac{N_{II}}{\omega_{II}} = \frac{29,4 \cdot 10^3}{28,26} = 1040,3 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4.12)$$

$$T_{III} = \frac{N_{III}}{\omega_{III}} = \frac{28,2 \cdot 10^3}{28,26} = 997,9 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4.13)$$

$$T_{IV} = \frac{N_{IV}}{\omega_{IV}} = \frac{27,6 \cdot 10^3}{28,26} = 976,6 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4.14)$$

$$T_V = \frac{N_V}{\omega_V} = \frac{26,2 \cdot 10^3}{7,07} = 3705,8 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4.15)$$

Висновки по розділу. Наведені розрахунки вказують на те, що при встановленні кінематичного режиму роботи виробник копача АЗБ-6 акцентував свою увагу на якісному підбиранні викопаних коренеплодів та високій збереженості від пошкоджень знехтувавши якістю очищення від ґрунтових та рослинних домішок. Було встановлено, що основну шкоду урожаю, в даному випадку, наносить обрамлення турбінних коліс пружинними пальцями в зазори

між якими можуть потрапляти хвостики коренеплодів і обламуватись. Тому, було запропоновано прибрати опори, функцію яких виконують зазначені пальці та встановити повздовжні пруткові огороження, тим самим знизивши ймовірність відламування хвостиків коренеплодів до мінімуму.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Копач цукрових буряків АЗБ-6 є складним сільськогосподарським агрегатом, експлуатація якого пов'язана з впливом на оператора ряду небезпечних і шкідливих виробничих факторів [10,13]. Вони поділяються на фізичні та психофізіологічні. До основних із них належать:

- загальна вібрація – її рівні можуть перевищувати гранично допустиме значення 92 дБ на частоті 2 Гц. Тривала дія вібрації спричиняє ураження опорно-рухового апарату;
- виробничий шум у зоні робочого місця досягає 95–102 дБА при нормі 80 дБА що призводить до порушення слуху;
- запиленість повітря ґрунтовим пилом внаслідок викопування та відокремлення коренеплодів;
- рухомі частини машини – дискові викопуючі диски, турбінні колеса піднімально – сепаруючого пристрою, карданні та ланцюгові передачі є джерелами механічної небезпеки;
- ризик перекидання агрегату при роботі на схилах понад допустимий кут 8–10°;
- несприятливий мікроклімат у кабіні трактора: влітку температура може перевищувати 35 °С при нормі 16–24 °С.

До психофізіологічних факторів відносяться тривале фізичне та нервово-психічне навантаження оператора, монотонність і тривалість робочої зміни, що знижує реакцію та підвищує ризик аварійних ситуацій.

5.2. Заходи щодо усунення небезпечних факторів

Зниження рівнів вібрації та шуму досягається застосуванням амортизуючих сидінь класу А та звукоізолюючого облицювання кабіни. Своєчасне технічне обслуговування агрегату – балансування обертових мас і заміна підшипників – є обов'язковим профілактичним заходом [10,13].

Усі рухомі та обертові елементи приводу АЗБ-6 огорожуються суцільними захисними кожухами. Зняття огорожень при запущеному двигуні

суворо забороняється. Для захисту органів дихання від пилу встановлюється фільтровентиляційна установка, а оператор забезпечується респіратором.

Трактор обладнується конструкцією захисту при перекиданні. Робота на схилах понад нормований кут забороняється. Мікроклімат підтримується справною системою кондиціонування в межах норми (відносна вологість 40–60 %).

Тривалість безперервної роботи механізатора не повинна перевищувати двох годин; після цього обов'язкова перерва не менше 15 хвилин. До самостійної роботи допускаються лише особи, які пройшли вступний, первинний та повторний інструктажі з охорони праці. Повторний інструктаж проводиться не рідше одного разу на шість місяців.

Висновки по розділу. Складний тягово – приводний бурякозбиральний агрегат є потенційним джерелом небезпеки для обслуговуючого персоналу. В розділі проаналізовано фактори, які негативно впливають на умови роботи та запропоновано порядок дій на усунення їх негативного впливу на виконання технологічного процесу.

6. Загальні висновки

У магістерській роботі проведено теоретичне дослідження, результати якого дозволяють оптимізувати конструктивно – кінематичні параметри роторного очисника з турбінними колесами начіпного копача АЗБ-6. За підсумками виконаної роботи сформульовано такі висновки:

1. Обґрунтовано актуальність модернізації наявної у виробництві в Україні бурякозбиральної техніки. Встановлено, що через значне фізичне та моральне зношення машин і високу вартість закордонних аналогів, найбільш раціональним шляхом підвищення ефективності галузі є вдосконалення вітчизняних начіпних чи причіпних агрегатів. Встановлено, що проблемним місцем в конструкції більшості цих машин є підйомно – сепаруючий або сепаруючий роторний з турбінними колесами пристрій, робота якого безпосередньо впливає на чистоту коренеплодів та рівень їх механічного пошкодження.

2. На основі аналізу конструкцій робочих органів виявлено переваги роторних (турбінних) очисних робочих органів у порівнянні з пальцьовими та прутковими завдяки їх високій інтенсивності сепарації. Однак, виявлено суттєвий недолік – підвищену схильність до пошкодження коренеплодів при недосконалому виборі геометричних і швидкісних характеристик та режиму роботи.

3. Теоретично досліджено динаміку взаємодії робочих елементів роторного (турбінного) очисника з коренеплодами цукрових буряків. Встановлено, що частота обертання турбінних коліс є визначальним фактором, який формує баланс між якістю очищення та рівнем пошкодження. Математично доведено, що збільшення частоти обертання призводить до нелінійного зростання кінетичної енергії удару, тоді як її зниження нижче критичної межі унеможливорює якісне відокремлення ґрунту та рослинних решток.

4. Визначено раціональні параметри роботи копача. Встановлено, що діапазон частоти обертання роторів (турбінних коліс) у межах 240–260 об/хв

забезпечує дотримання агротехнічних вимог щодо чистоти вороху при мінімізації пошкоджень коренів.

5. Запропоновано зміни в конструкцію машини: замінити пружинні пальці, які охоплюють турбіни на поздовжні пруткові огороження. Це технічне рішення дозволить виключити потрапляння хвостиків буряків у зазори та значно знизити відсоток їх відламування.

6. Проведено оцінку безпеки праці при експлуатації модернізованого агрегату. Виявлено основні небезпечні фактори тягово – приводної машини та розроблено систему заходів, спрямованих на мінімізацію їх негативного впливу.

7. Впровадження запропонованих розробок дозволить покращити якість цукрової сировини, що надходить на переробні підприємства.

Список використаної літератури

1. Булгаков В.М. Теорія бурякозбиральних машин. К.: Видавничий центр НАУ, 2005. 245 с.
2. Буряки цукрові. Збирання. Показники якості та методи їх визначання: ДСТУ 7062:2009. - [Чинний від 2009-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 9 с. – (Національний стандарт України).
3. Васильковський О.М., Лещенко С.М., Васильковська К.В., Петренко Д.І. Підручник дослідника : навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. Харків : Мачулін. 2016. 204 с.
4. Васильковський О., Лещенко С., Васильковська К., Петренко Д. Основи наукових досліджень. Перші наукові кроки. : навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. Харків : Мачулін, 2019. 164 с.
5. Волоха М.Н. Технологічний комплекс машин для виробництва буряків цукрових: ширина міжрядь. Теорія, моделювання, результати випробувань [монографія] / М.П. Волоха.- Київ: Центр учбової літератури, 2015. – 220 с.
6. Войтюк Д. Г. Сільськогосподарські машини; підручник [2-е вид.]. Д. Г. Войтюк, Г. Р. Гаврилюк. Київ : Каравела, 2008. 552 с.
7. Гевко Р. Б. Викопувально-очисні пристрої бурякозбиральних машин: конструювання і розрахунок. Тернопіль : Поліграфіст, 1997. 120 с.
8. Деталі машин. Розрахунок та конструювання [Текст] : підручник / Г. В. Архангельський, М. С. Воробйов, В. С. Гапонов [та ін.]. Київ : Талком, 2014. 684 с.
9. Довідник з машиновикористання в землеробстві / В.І. Пастухов, А.Г. Чигрин, П.А. Джолос та ін.; за ред. В.І. Пастухова. Харків : ООО «Веста», 2001. 343 с.
10. ДСТУ 2189-93 Система стандартів безпеки праці. Машини сільськогосподарські навісні та причіпні. Загальні вимоги безпеки. Зі зміною № 1 та поправкою.

11. ДСТУ 4327:2004. Машини для збирання цукрового буряка. Загальні технічні умови. Київ : Держспоживстандарт України, 2004. 14 с.
12. Дубровін В.О., Голуб Г.А., Дубчак Н.А., Теслюк В.В. Ідентифікація процесу розробки адаптованої коренезбиральної машини. *Machinery & Energetics*. 2013. № 185(2). С. 11–20. URL: [https://technicalscience.com.ua/web/uploads/journals_pdf/Machinery%20&%20Energetics_No.%20185\(2\).pdf](https://technicalscience.com.ua/web/uploads/journals_pdf/Machinery%20&%20Energetics_No.%20185(2).pdf).
13. Зеркалов Д.В. Охорона праці в галузі: Загальні вимоги. : навч. посібник. Київ : «Основа», 2011. 551 с.
14. Зінченко О. І., Салатенко В. Н. Рослинництво. Київ : Аграрна освіта, 2001. 591 с.
15. Ziegler K. Trends bei der Zuckerrübenernte. Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (DLG). Eibelstadt : Verband Fränkischer Zuckerrübenbauer, 2023. URL: <https://www.dlg.org/magazin/trends-bei-der-zuckerruebenernte>
16. Hoffmann C., Engelhardt M., Gallmeier M., Gruber M., Märländer B. Importance of harvesting system and variety for storage losses of sugar beet. *Sugar Industry / Zuckerindustrie*. 2018. Vol. 143, No. 8. P. 474–484. DOI: <https://doi.org/10.36961/si19782>.
17. Ковалишин С. Й., Онисименко О. В. Машини для збирання цукрового буряка. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2018. 312 с.
18. Котович Х. Техніка для збирання цукрових буряків. URL: <https://agroelita.info/tekhnika-dlia-zbyrannia-tsukrovykh-buriakiv>.
19. Машини для збирання цукрових буряків: конструкції та сучасні вимоги. URL: <https://propozitsiya.com/ua/mashini-dlya-zbirannya-cukrovih-buryakiv-konstrukciyi-ta-suchasni-vimogi>.
20. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з курсів «Технологія механізованих робіт в рослинництві» та «Машиновикористання в рослинництві» для студентів спеціальностей 208 «Агроінженерія» та 133 «Галузеве машинобудування» / Укладачі: В. М. Сало, С. М. Лещенко, Д. І.

Петренко, О. М. Васильковський, П. Г. Лузан. – Кропивницький : ЦНТУ, 2018. – 170 с.

21. Nouvelle arracheuse Franquet SBH 6 D : l'heure de raison. URL: <https://www.farm-connexion.com/2021/09/27/nouvelle-arracheuse-franquet-sbh-6-d-lheure-de-raison>.

22. Посібник. Машина для збирання зернових та технічних культур. За ред. В.І. Кравчука, Ю.Ф. Мельника. Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. 2009. 296 с.

23. Присяжнюк М. М. Механічні властивості коренеплодів цукрового буряка як об'єкта збирання. Механізація та електрифікація сільського господарства. 2010. № 94. С. 125 – 133.

24. Технічні культури: навч. посібник / О.С. Городецький, Л.М. Качан, С.П. Вахній, В.С. Хахула; За ред. О.С. Городецького.- Біла Церква, 2018. – 288 с.